

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-251100

(43)Date of publication of application : 22.09.1997

(51)Int.Cl.

G21K 7/00

(21)Application number : 08-059251

(71)Applicant : OLYMPUS OPTICAL CO LTD

(22)Date of filing : 15.03.1996

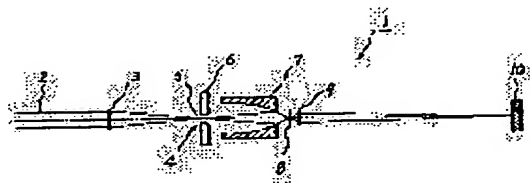
(72)Inventor : NAGAI HIROAKI

## (54) SOFT X-RAY MICROSCOPE

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To perform accurate and simple focusing by using an imageforming optical element with large magnitude by providing a measuring means measuring a distance between an observation object and a detector or a distance between an objective lens and a detector.

SOLUTION: A beam 2 emitting from an SR light source is allowed to enter a zone plate 3 with a large diameter in order to utilize a light fully. The incident beam 2 is condensed and becomes a primary diffraction light, thereby forming a spot light source 4. A light shielding plate 6 having a pinhole 5 where the beam from the source 4 can pass through is provided just behind the source 4. The beam entering an obliquely incident condenser from the source 4 becomes monochromatic by the plate 3 and pinhole 5. The condenser 7 is of rotary elliptic shape, and the beam from the source 4 is directed to a sample 8. A distance between an objective zone plate 9 and a detector 10 is measured at an error of 1mm so as to obtain the image-forming magnitude accurately.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

2/4

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-251100

(43) 公開日 平成9年 (1997) 9月22日

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>

G 2 1 K 7/00

識別記号

庁内整理番号

F I

G 2 1 K 7/00

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平8-59251

(22) 出願日 平成8年 (1996) 3月15日

(71) 出願人 000000376

オリンパス光学工業株式会社

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号

(72) 発明者 永井 宏明

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリン  
パス光学工業株式会社内

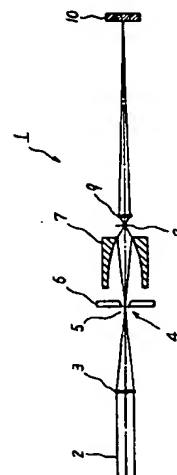
(74) 代理人 弁理士 杉村 暁秀 (外4名)

(54) 【発明の名称】 軟X線顕微鏡

(57) 【要約】

【課題】 高倍率の結像光学素子を使用しながら、精度よくかつ簡単にフォーカシングを行うことができる軟X線顕微鏡を提供する。

【解決手段】 軟X線顕微鏡1は、軟X線光源から発した指向性のよい軟X線のビーム2を入射されて二次光源4を形成するゾーンプレート3と、二次光源4の直後に設けられたピンホール5を有する遮光板6と、二次光源4からの軟X線を回転楕円面に入射されて試料8に照射する斜入射コンデンサ7とより成る照明光学系と、試料8からの軟X線を集束させるゾーンプレート型対物レンズ9と、光軸方向に移動可能な検出器10とを具え、検出器10を光軸方向に移動させて検出器10およびゾーンプレート型対物レンズ9間の距離を変化させるることによりフォーカシングを行う。



FP03-0052-0000-HP

03.7.-8

SEARCH REPORT

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 軟X線光源から発した軟X線を観察対象物に照射する照明光学系と、前記観察対象物からの軟X線を集束させる対物レンズと、光軸方向に移動可能な検出器とを具える軟X線顕微鏡において、前記検出器の移動によってフォーカシングを行うようにしたことを特徴とする軟X線顕微鏡。

【請求項2】 軟X線光源から発した軟X線を観察対象物に照射する照明光学系と、前記観察対象物からの軟X線を集束させる対物レンズと、光軸方向に移動可能な検出器とを具える軟X線顕微鏡において、前記検出器と前記対物レンズとの間の距離の最大値が最小値の1.5倍以上になるようにしたことを特徴とする軟X線顕微鏡。

【請求項3】 軟X線光源から発した軟X線を観察対象物に照射する照明光学系と、前記観察対象物からの軟X線を集束させる対物レンズと、光軸上に固定または挿脱可能に配置される検出器と、前記検出器と前記対物レンズとの間の光軸上に挿脱可能に配置される少なくとも1つの他の検出器とを具える軟X線顕微鏡において、前記観察対象物と前記対物レンズとの間の距離を変化させることにより前記検出器の何れか1つに軟X線を集束させることでその検出器を選択するようにしたことを特徴とする軟X線顕微鏡。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、X線顕微鏡、特に生体観察や半導体検査等に好適な高解像度の軟X線顕微鏡に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 X線顕微鏡は、生物試料を未処理で高分解能観察することができるため注目されている。例えば、結像型X線顕微鏡は、X線源から発したX線を照明光学系により試料に向けて集光し、このX線で照射された試料の像を結像光学系により検出器上に結像させて試料を観察するように構成されている。

【0003】 上記結像型X線顕微鏡の光学系を構成する照明光学系や結像光学系としては、例えば反射面に特定の波長のX線に対して高い反射率を有する多層膜を積層して成るシュヴアルツシルド光学系、全反射を利用したウォルター光学系、回折を利用したゾーンプレート光学系等が用いられており、これら光学系を組み合わせた従来例としては、以下のものがある。

【0004】 (1) 集光光学系および結像光学系の両方にゾーンプレートを用いたもの（例えば、特開平6-347600号公報や、X-Ray Microscopy, ed. by G.Schmahland D.Rudolph, Springer Series in Optical Sciences, Vol.43, (Springer, Berlin, Heidelberg 1984) のP192-202に記載された、D.Rudolph et al., "The Göttingen X-Ray Microscope and X-Ray Microscopy Experim

ents at the BESSY Strage Ring")。

(2) 集光光学系に多層膜反射鏡を用い、結像光学系にゾーンプレートを用いたもの（例えば、特開平4-264300号公報）。

(3) 集光光学系に斜入射反射鏡を用い、結像光学系に直入射多層膜反射鏡を用いたもの（例えば、特開平6-230200号公報）。

(4) 集光光学系および結像光学系の両方に斜入射鏡を用いたもの（例えば、特開平6-230200号公報）。

(5) 集光光学系にゾーンプレートおよび斜入射反射鏡を用い、結像光学系にゾーンプレートを用いたもの（例えば、特願平6-13543号明細書）。

一般に、X線光学素子においてはX線の透過率が低いため、結像光学系は1つの結像光学素子で高倍率を得るように設計されているものが多く、上述した従来例においてもそのように設計されている。

【0005】 ところで、結像光学系（結像光学素子）においては物点位置の光軸方向のずれは結像倍率の2乗で結像位置のずれに拡大されるため、ずれた位置では結像も異なるものとなる。そこで、可視顕微鏡では結像倍率を一定に保つために、像点と物点との間の距離（ $IO$ ）を固定することが多く、軟X線顕微鏡においても上記従来例と同様に像点と物点との間の距離（ $IO$ ）を固定しているものが多い。

## 【0006】

【発明が解決しようとする課題】 上記従来例では、試料と対物レンズとの間の距離を調整することによってフォーカシングを行うが、高倍率の顕微鏡として構成すると以下に示すようにフォーカシングが困難になる。例えば、 $IO=1$  (m) の光学系を想定すると、結像光学素子の倍率を100倍にした場合には試料位置が10 (nm) ずれても結像位置で0.1 (mm) のずれが生じるだけで済むが、結像素子の倍率を1000倍にした場合には試料位置が10 (nm) ずれると結像位置で10

(mm) のずれが生じることになる。すなわち、結像素子の倍率が1000倍の顕微鏡では、数nmの分解能で試料を移動させる必要があり、このような試料の移動を精度よく実現する機構は複雑になり、コストアップを招く。また、上記従来例では、距離 $IO$ を固定しているため、結像倍率を変更するためには、焦点距離の異なる結像光学素子に交換するという面倒な作業を行う必要がある。

【0007】 また、上記従来例では、距離 $IO$ を固定しているため、X線検出器を所望に応じて交換する際には、複数のX線検出器を同一平面上で交換する必要がある。このため、X線検出器の切換機構や操作機構が1個所に集中配置されることになり、レイアウト設計が困難になる。この傾向はX線検出器の種類が増えるほど顕著になる。また、 $1 \times 10^{-4}$  (Pa) 以下の真空度を必

要とするマイクロチャンネルプレート(MCP)等の検出器と、0.1Pa以下の真空度で十分なX線乾板等の検出器とを使い分ける場合には、全体が $1 \times 10^{-4}$ (Pa)以下の真空度になるまで真空排気を行うか、あるいは作動排気が可能な構造にする必要がある。しかし、前者の場合は真空排気時間が長くなるという問題が生じ、後者の場合は検出器の切換機構や操作機構が追加されるためさらにレイアウト設計が困難になるという問題が生じる。

【0008】本発明は、高倍率の結像光学素子を用いた構成でありながら、精度よくかつ簡単にフォーカシングを行うことのできる軟X線顕微鏡を提供することを第1の目的とする。本発明は、結像光学素子を交換せずに結像倍率を変化させることのできる軟X線顕微鏡を提供することを第2の目的とする。本発明は、複数の検出器を切り換えることができ、かつレイアウト設計が容易な軟X線顕微鏡を提供することを第3の目的とする。

$$1/a + 1/b = 1/f$$

$$b = a \cdot M$$

$$a + b = l_0$$

【0011】本発明の請求項1の軟X線顕微鏡によれば、光軸方向に移動可能な検出器の移動によってフォーカシングを行うため、高分解能の移動機構を設けずに精密なフォーカシングを行うことができる。したがって、高倍率の結像光学素子を用いた構成でありながら、簡単にかつ高精度でフォーカシングを行うことができる。例えば、 $l_0 = 1$ (m)のとき結像光学素子の倍率が1000倍となる結像光学系を用いる場合には、 $l_0 = 1$ (m)の近傍で検出器を1(mm)の精度で移動させることは、試料位置において1(nm)の精度でフォーカシングを行うことに等しい。この場合、実際の結像倍率はほぼ1000倍となる。

【0012】上記第2の目的のため、本発明の請求項2の構成は、軟X線光源から発した軟X線を観察対象物に照射する照明光学系と、前記観察対象物からの軟X線を集束させる対物レンズと、光軸方向に移動可能な検出器とを具える軟X線顕微鏡において、前記検出器と前記対物レンズとの間の距離の最大値が最小値の1.5倍以上になるようにしたことを特徴とするものである。

【0013】本発明の請求項2の軟X線顕微鏡によれば、距離 $l_0$ を、その最大値が最小値の1.5倍以上になるように大きく変化させることにより結像倍率を変化させるので、結像光学素子を交換せずに結像倍率を変更することができる。

【0014】上記第3の目的のため、本発明の請求項3の構成は、軟X線光源から発した軟X線を観察対象物に照射する照明光学系と、前記観察対象物からの軟X線を集束させる対物レンズと、光軸上に固定または挿脱可能に配置される検出器と、前記検出器と前記対物レンズとの間の光軸上に挿脱可能に配置される少なくとも1つの

【0009】

【課題を解決するための手段】上記第1の目的のため、本発明の請求項1の構成は、軟X線光源から発した軟X線を観察対象物に照射する照明光学系と、前記観察対象物からの軟X線を集束させる対物レンズと、光軸方向に移動可能な検出器とを具える軟X線顕微鏡において、前記検出器の移動によってフォーカシングを行うようにしたことを特徴とするものである。

【0010】図1の原理図を用いて結像光学素子の基本的な公式を説明する。図1において、aは物点P1から光学素子の主面Sまでの距離であり、bは光学素子の主面Sから像点P2までの距離であり、fは光学素子の焦点距離である。このとき、Mを結像倍率とし、像点P2と物点P1との間の距離を $l_0$ とすると、次式が成立する。

【数1】

$$(1)$$

$$(2)$$

$$(3)$$

他の検出器とを具える軟X線顕微鏡において、前記観察対象物と前記対物レンズとの間の距離を変化させることにより前記検出器の何れか1つに軟X線を集束させることでその検出器を選択するようにしたことを特徴とするものである。

【0015】本発明の請求項3の軟X線顕微鏡によれば、複数の検出器の結像位置を夫々異ならせているため、これら複数の検出器が1個所に集中配置されることはなく、複数の検出器を簡単に切り換えることができる軟X線顕微鏡を容易に設計することができる。

【0016】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を図面に基づき詳細に説明する。図2は本発明の第1実施形態の軟X線顕微鏡の構成を示す図である。この第1実施形態の軟X線顕微鏡1はゾーンプレート顕微鏡として構成されており、軟X線光源としてシンクロトロン(SR)光源を用いている。なお、軟X線光源としては、そこから照射されたビームがゾーンプレートにより集光されて点光源を形成する必要があるため、SR光源のような指向性の強い光源を用いることが好ましいが、必ずしもSR光源に限定されるものではない。

【0017】図2において、図示しないSR光源から発したビーム2は、光を有効利用するために直径を大きくしたゾーンプレート3に入射される。このゾーンプレート3は、最外殻線幅 $d = 0.06$ ( $\mu\text{m}$ )、直径0.5(mm)であり、分光素子としての機能を有している。ゾーンプレート3に入射したビーム2は集束されて一次回折光となり、点光源(二次光源)4を形成する。

【0018】光軸上において、点光源4の直後に、点光源4からのビームを通過し得る径のピンホール5を有す

る遮光板6を設ける。ゾーンプレート3とピンホール5とにより、点光源4から斜入射コンデンサ7に入射するビームを単色化する。この単色化は、対物レンズにゾーンプレートを用いる場合の大きな色収差を考慮して行うものであり、放射光のような連続した波長の光を用いる場合に不要な光を遮断し得るものである。

【0019】上記斜入射コンデンサ7は、回転楕円面形状を有しており、点光源4から入射されたビームを試料(観察対象物)8上に照射する。上記ゾーンプレート3、点光源(二次光源)4、ピンホール5を有する遮光板6および斜入射コンデンサ7は照明光学系を構成する。試料8は、図示しない試料ステージにより、光軸方向の粗動(例えば分解能0.01μm)および光軸に対し垂直な平面上での移動が可能になっている。試料8を

$$r_n^2 + f^2 = (f + n\lambda/2)^2$$

に基づいて波長λ=4(nm)用に設計されている。この(4)式に上述した条件を代入すると、焦点距離fは、0.45(mm)となる。このとき、試料8から検出器10までの距離が450(mm)である場合には、上述した(1)、(2)、(3)式より、結像倍率Mは、998倍となる。

【0021】次に、本実施形態における試料観察について説明する。試料8の観察を行う際には、まず、検出器10からの像を確認しながら、上記試料ステージの移動機構を用いて試料8を0.01(μm)程度の精度でフォーカシングする。次に、上記検出器の移動機構を用いて、微調整を行う。結像倍率Mが998倍であるため、この微調整では検出器10は最大値で、

$$0.01(\mu\text{m}) \times 998 \times 998 = 9960(\mu\text{m}) = 9.96(\text{mm})$$

移動させればよい。また、1(mm)の精度で検出器10を光軸方向に移動させることにより、上記試料ステージを1(nm)の精度で移動させてフォーカシングを行ったことと同等である。

【0022】また、対物ゾーンプレート9と検出器10との間の距離を1(mm)の誤差で測定することにより、結像倍率Mを正確に求めることができる。例えば、上記フォーカシングによりフォーカスが合った状態になったときの対物ゾーンプレート9と検出器10との間の距離が452(mm)±誤差1(mm)である場合には、結像倍率Mの取り得る値は1001倍から1006倍までの間の値であると限定することができる。

【0023】本実施形態によれば、精度が高くない、試料ステージの移動機構と検出器の移動機構とを組み合わせることで、高精度のフォーカシングを行うことができる。さらに、検出器10と結像光学素子である対物ゾーンプレート9との間の距離を、1mmという比較的容易な精度で測定することにより結像倍率Mを1%以内の誤差で限定することができる。

【0024】次に、本発明の第2実施形態を説明する。

通過したビームは、輪帯数500、最外殻線幅d=0.03(μm)、直径0.03(mm)の対物ゾーンプレート9を経た後、検出器10に入射する。検出器10は、図示しない移動機構により光軸方向に移動可能になっており、対物ゾーンプレート9から検出器10までの距離(または試料8から検出器10までの距離)を測定する図示しない測定機構が設けられている。検出器10としてはMCPや半導体画像検出器等が用いられ、この検出器10上に試料8の像が拡大投影される。

【0020】上記ゾーンプレート3および対物ゾーンプレート9は、光源が無窮遠にあるときのゾーンプレートのn番目のゾーン半径r<sub>n</sub>と、焦点距離fと、波長λとの関係を示す次式

【数2】

(4)

この第2実施形態においては、上記第1実施形態と同一の軟X線顕微鏡(図2参照)を用いて、結像倍率を変化させながら試料観察を行う。なお、本実施形態の軟X線顕微鏡は、ゾーンプレート3またはピンホール5を有する遮光板6の移動機構(図示せず)を有している点が上記第1実施形態の軟X線顕微鏡とは相違する。

【0025】まず、第1実施形態と同様に、検出器10からの像を確認しながら、上記試料ステージの移動機構を用いて0.01(μm)程度の精度で試料8のフォーカシングを行ったところ、対物ゾーンプレート9と検出器10との間の距離は450(mm)であった。この450(mm)という値は、上記距離の最小値である。次に、上記試料ステージの移動機構を用いて試料8を0.01(μm)程度の移動精度で0.15(μm)だけ対物ゾーンプレート9に接近させる。その後、上記検出器の移動機構を用いて検出器10を移動させてフォーカスが合った状態にしたとき、対物ゾーンプレート9と検出器10との間の距離が675(mm)±誤差1(mm)であった。この675(mm)という値は、対物ゾーンプレート9と検出器10との間の距離の最大値である。このときの結像倍率Mは(1)、(2)、(3)式より1498倍から1500倍までの間の値であると限定することができる。

【0026】本実施形態によれば、試料8と対物ゾーンプレート9との間の距離を変化させることにより、結像光学素子である対物ゾーンプレート9を交換することなく、結像倍率を容易に変化させることができる。さらに、検出器10と結像光学素子である対物ゾーンプレート9との間の距離を測定することにより結像倍率Mを1%以内の誤差で限定することができる。

【0027】次に、本発明の第3実施形態を説明する。この第3実施形態においては、上記第1実施形態と同様に図2に示す配置の軟X線顕微鏡を用いて、試料に入射する軟X線の波長を選択することにより、結像倍率を変化させながら試料観察を行う。なお、本実施形態の軟X

線顕微鏡は、ゾーンプレート3またはピンホール5を有する遮光板6の移動機構（図示せず）を有している点および各光学素子の値が上記第1実施形態の軟X線顕微鏡とは相違する。

【0028】まず、第1実施形態と同様に、検出器10からの像を確認しながら、上記ステージの移動機構を用いて0.01 ( $\mu\text{m}$ ) 程度の精度で試料8のフォーカシングを行ったところ、波長 $\lambda=4$  (nm) の場合の対物ゾーンプレート9と検出器10との間の距離は81 (mm) であった。このときの結像倍率Mは(1)、

(2)、(3) 式より約180倍であり、試料8と対物ゾーンプレート9との間の距離は0.4525 (mm) である。

【0029】ところで、上記ゾーンプレート3またはピンホール5を有する遮光板6の移動機構を用いてゾーンプレート3またはピンホール5を有する遮光板6を光軸方向に移動させると、試料8を通過するビームの波長 $\lambda$ が変化し、それにより対物ゾーンプレート9の焦点距離fも変化する。したがって、ゾーンプレート3またはピンホール5を有する遮光板6を微小距離だけ移動させることにより試料8に入射する軟X線の波長を選択することができるので、本実施形態では試料8を透過するビームの波長 $\lambda$ を4 (nm) から3.98 (nm) にシフトする。このときの対物ゾーンプレート9の焦点距離は、

(4) 式より $f=0.45226$  (mm) となる。この状態において、試料8の位置を変化させなければ、結像倍率Mは1884倍であり、検出器10と結像光学素子である対物ゾーンプレート9との間の距離は853 (mm) である。

【0030】本実施形態によれば、対物ゾーンプレート9に入射させるビームの波長を僅かに変化させることにより、結像光学素子である対物ゾーンプレート9を交換することなく、結像倍率を大きく変化させることができる。

【0031】なお、上記第1～第3実施形態においては、ゾーンプレート3またはピンホール5を有する遮光板6の光軸方向の位置を変更することにより、試料8を通過して対物ゾーンプレート9に入射する軟X線ビームの波長を選択するようにしているが、多層膜等の他の分光素子を用いて波長選択を行うようにしてもよい。

【0032】図3は本発明の第4実施形態の軟X線顕微鏡の構成を示す図である。この第4実施形態の軟X線顕微鏡11は、軟X線光源としてレーザプラズマ光源12を用いている。図3において、レーザプラズマ光源12から発した軟X線のビーム13は、斜入射コンデンサ14に入射する。斜入射コンデンサ14は、回転楕円面形状を有し、ビーム13を試料15上に照射する。試料15は図示しないステージにより、光軸方向の粗動（例えば分解能0.01  $\mu\text{m}$ ）および光軸に対し垂直な平面上での移動が可能である。

【0033】試料15を通過および回折したビームは、シュヴァルツシルド型対物レンズ16を経て検出器としてのMCP17に入射し、MCP17上には試料15の像が拡大投影される。シュヴァルツシルド型対物レンズ16としては、例えば、結像倍率 $M=224$ 倍、開口数 $NA=0.25$ 、焦点距離 $f=4.417$  (mm)、鏡面間隔 $=24.686$  (mm)、凸面鏡の曲率半径 $=6.541$  (mm)、凸面鏡の有効径 $=2.2$  (mm)、凹面鏡の曲率半径 $=32.125$  (mm)、凹面鏡の有効径 $=18.8$  (mm) のものを用いる。本実施形態においては、検出器として上記MCP17の他に、X線の光軸に挿脱可能なX線乾板18を具えており、試料15およびMCP17間の距離(10)は2000 (mm) であり、試料15およびX線乾板18間の距離(10)は1000 (mm) である。

【0034】上記光学系は真空容器19内に収容されている。真空容器19は、図3に示すベリリウムフィルタ20と、図5に示すゲートバルブ21、22とによって真空室23、24 (24a、24b)、25に区分され、真空室23、24、25は、図示しない真空排気装置によって夫々単独で真空排気できるようになっている。X線の光路は0.1 (Pa) 程度の真空度が確保されれば吸収の影響が殆ど生じないので、真空室23、24はこの程度の真空度にすればよい。一方、真空室25は、MCP17を使用するため、 $1 \times 10^{-4}$  (Pa) 以下の真空度にする必要があり、ベリリウムフィルタ20は上記真空度間の差圧を保つ作用を有している。なお、真空容器19には、真空室24aに対しX線乾板18を出し入れするためのシャッタ26が設けられている。

【0035】次に、本実施形態における試料観察について説明する。MCP17によって試料15の観察を行う際には、まず、図3に示すようにゲートバルブ21、22を開放した状態にする。ここで、 $10=2000$  (mm) であるので、上記(1)、(2)、(3) 式より結像倍率Mは451倍となる。このとき、試料15とシュヴァルツシルド型対物レンズ16の主面との間の距離は4.427 (mm) である。

【0036】一方、X線乾板18によって試料15の撮影を行う際には、図4に示すようにゲートバルブ22を閉じた状態にしてからX線乾板18を光軸上に挿入する。ここで、 $10=1000$  (mm) であるので、上記(1)、(2)、(3) 式より結像倍率Mは224倍となる。このとき、試料15とシュヴァルツシルド型対物レンズ16の主面との間の距離は4.437 (mm) である。なお、試料15とシュヴァルツシルド型対物レンズ16の主面との間の距離の変更は、図示しない移動機構によるシュヴァルツシルド型対物レンズ16の光軸方向の移動により行い、この距離の変更によってMCP17、X線乾板18の一方が検出器として選択される。

【0037】撮影後のX線乾板18の交換は以下のよう

10

20

30

40

50

にして行う。すなわち、まず、図5に示すようにゲートバルブ21、22を閉じた状態にしてから真空室24aを大気開放し、次に、シャッタ26を開放して撮影済みのX線乾板18を新しいX線乾板18と交換する。その後、シャッタ26を閉じて真空室24aの真空排気を行い、真空室24aおよび真空室23間の圧力差ならびに真空室24aおよび真空室24b間の圧力差が小さくなった時点で、ゲートバルブ21、22を開放する。以上のような一連の手順でX線乾板18を交換することにより、ベリリウムフィルタ20に0.1(Pa)以上の差圧が加わることが防止されるためベリリウムフィルタ20を薄くすることができ、X線の吸収を回避することができる。

【0038】本実施形態によれば、複数（この場合2種類）の検出器を光軸方向に離間させているため、複数の検出器を真空容器内に配置することが容易であり、したがって、複数の検出器のレイアウト設計が容易になる。また、検出器間にシャッタやフィルタ等を配置することが可能であるので、作動させる真空度が異なる複数の検出器を選択的に使用する際に、検出器の切り換えが容易である。

【0039】なお、本実施形態においては2種類の検出器を使用しているが、3種類以上の検出器を使用するように構成することも可能である。この場合、上述した複数の検出器のレイアウト設計が容易になる効果が一層顕著になる。また、本実施形態の複数の検出器を選択的に使用する構成を、上述した第1～第3実施形態の照明光学系および対物レンズの部分と組み合わせることにより、軟X線顕微鏡を構成してもよい。その場合、ゾーンプレート3またはピンホール4を光軸方向に移動させることにより検出器17、18一方を選択することができる。

【0040】また、高電圧を必要とする検出器（本実施形態ではMCP17）を用いる場合、その検出器を図3に示すように光軸の最後尾に配置すれば、その検出器は移動させる必要がないため固定することができ、安全面で有利である。そのため、図3に示すように検出器（MCP）17を光軸上に固定し、検出器（X線乾板）18を光軸上に挿脱可能に配置しているが、MCP17を光軸上に挿脱可能に配置するようにしてもよい。また、シュヴァルツシルド型対物レンズ16およびMCP17間に、X線乾板18に加えてさらに他の検出器を設けてもよい。

【0041】なお、本発明は上述した例のみに限定されるものではなく、種々の変更または変形を加えることができる。例えば、軟X線光源から発した軟X線を観察対象物に照射する照明光学系と、前記観察対象物からの軟X線を集束させる対物レンズと、光軸方向に移動可能な検出器とを具える軟X線顕微鏡において、前記検出器と前記対物レンズとの間の距離を変化させることにより前

記対物レンズの結像倍率を変更するようにしたことを特徴とする軟X線顕微鏡としてもよい（付記項1）。その場合、前記検出器と前記対物レンズとの間の距離を変化させることにより結像倍率を変化させるので、光学素子を交換せずに簡単に結像倍率を変更することができる。

【0042】また、軟X線光源から発した軟X線を観察対象物に照射する照明光学系と、前記観察対象物からの軟X線を集束させる対物レンズと、光軸方向に移動可能な検出器とを具える軟X線顕微鏡において、前記観察対象物に入射する軟X線の波長を選択する波長選択手段を設け、該波長選択手段により前記観察対象物に入射する軟X線の波長を選択することによって前記対物レンズの結像倍率を変更するようにしたことを特徴とする軟X線顕微鏡としてもよい（付記項2）。その場合、前記観察対象物に入射する軟X線の波長を選択することにより結像倍率を変化させるので、光学素子を交換せずに簡単に結像倍率を変更することができる。

【0043】また、軟X線光源から発した指向性のよい軟X線を入射されて二次光源を形成するゾーンプレートと、該二次光源の直後に光軸方向に移動可能に設けられたピンホールと、前記二次光源からの軟X線を回転楕円面に入射されて観察対象物に照射する斜入射鏡とより成る照明光学系と、前記観察対象物からの軟X線を集束させるゾーンプレート型対物レンズと、光軸方向に移動可能な検出器とを具える軟X線顕微鏡において、前記ピンホールを光軸方向に移動させることにより前記観察対象物に照射する軟X線の波長を選択する波長選択手段を設け、該波長選択手段により前記観察対象物に入射する軟X線の波長を選択することによって前記対物レンズの結像倍率を変更するようにしたことを特徴とする軟X線顕微鏡としてもよい（付記項3）。その場合、入射光の波長が変化すると焦点距離が変化するというゾーンプレート型対物レンズの特性を利用して、前記ゾーンプレート型対物レンズおよび観察対象物間の距離を固定したままで、前記観察対象物に入射する軟X線の波長を選択することにより結像倍率を変化させるので、光学素子を交換せずに簡単に結像倍率を変更することができる。

【0044】また、軟X線光源から発した指向性のよい軟X線を入射されて二次光源を形成する、光軸方向に移動可能に設けられたゾーンプレートと、該二次光源の直後に設けられたピンホールと、前記二次光源からの軟X線を回転楕円面に入射されて観察対象物に照射する斜入射鏡とより成る照明光学系と、前記観察対象物からの軟X線を集束させるゾーンプレート型対物レンズと、光軸方向に移動可能な検出器とを具える軟X線顕微鏡において、前記ゾーンプレートを光軸方向に移動させることにより前記観察対象物に照射する軟X線の波長を選択する波長選択手段を設け、該波長選択手段により前記観察対象物に入射する軟X線の波長を選択することによって前記対物レンズの結像倍率を変更するようにしたことを特



微とする軟X線顕微鏡としてもよい（付記項4）。その場合、入射光の波長が変化すると焦点距離が変化するというゾーンプレート型対物レンズの特性を利用して、前記ゾーンプレート型対物レンズおよび観察対象物間の距離を固定したままで、前記観察対象物に入射する軟X線の波長を選択することにより結像倍率を変化させるので、光学素子を交換せずに簡単に結像倍率を変更することができる。

【0045】また、軟X線光源から発した指向性のよい軟X線を入射されて二次光源を形成するゾーンプレートと、該二次光源の直後に光軸方向に移動可能に設けられたピンホールと、前記二次光源からの軟X線を回転楕円面に入射されて観察対象物に照射する斜入射鏡とより成る照明光学系と、前記観察対象物からの軟X線を集束させる対物レンズと、光軸上に固定または挿脱可能に配置される検出器と、前記検出器と前記対物レンズとの間の光軸上に挿脱可能に配置される少なくとも1つの他の検出器とを具える軟X線顕微鏡において、前記ピンホールを光軸方向に移動させることにより前記検出器の何れか1つを選択するようにしたことを特徴とする軟X線顕微鏡としてもよい（付記項5）。その場合、複数の検出器の結像位置を夫々異ならせているため、これら複数の検出器が1個所に集中配置されることはなく、複数の検出器を簡単に切り換えることができる軟X線顕微鏡を容易に設計することができる。

【0046】また、軟X線光源から発した指向性のよい軟X線を入射されて二次光源を形成する、光軸方向に移動可能に設けられたゾーンプレートと、該二次光源の直後に設けられたピンホールと、前記二次光源からの軟X線を回転楕円面に入射されて観察対象物に照射する斜入射鏡とより成る照明光学系と、前記観察対象物からの軟X線を集束させる対物レンズと、光軸上に固定または挿脱可能に配置される検出器と、前記検出器と前記対物レンズとの間の光軸上に挿脱可能に配置される少なくとも1つの他の検出器とを具える軟X線顕微鏡において、前

記ゾーンプレートを光軸方向に移動させることにより前記検出器の何れか1つを選択するようにしたことを特徴とする軟X線顕微鏡としてもよい（付記項6）。その場合、複数の検出器の結像位置を夫々異ならせているため、これら複数の検出器が1個所に集中配置されることはなく、複数の検出器を簡単に切り換えることができる軟X線顕微鏡を容易に設計することができる。

【0047】また、上記請求項1～3、付記項1～6の何れか1項記載の軟X線顕微鏡において、前記観察対象物と前記検出器との間の距離または前記対物レンズと前記検出器との間の距離を測定する測定手段を設けたことを特徴とする軟X線顕微鏡としてもよい（付記項7）。その場合、軟X線顕微鏡の対物レンズの結像倍率（実効倍率）を簡単に求めることが可能になる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の軟X線顕微鏡の原理図である。

【図2】本発明の第1～第3実施形態の軟X線顕微鏡の構成を示す図である。

【図3】本発明の第4実施形態の軟X線顕微鏡の構成を示す図である。

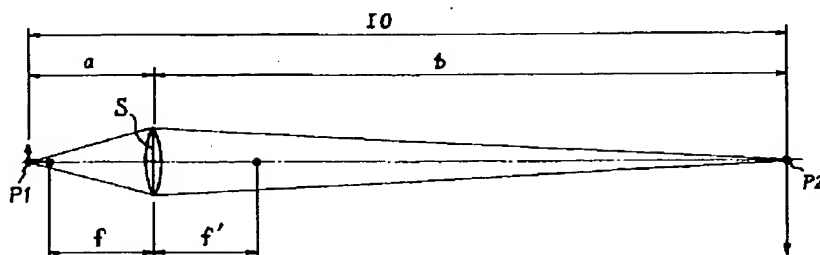
【図4】第4実施形態の軟X線顕微鏡の作用を説明するための図である。

【図5】第4実施形態の軟X線顕微鏡の作用を説明するための図である。

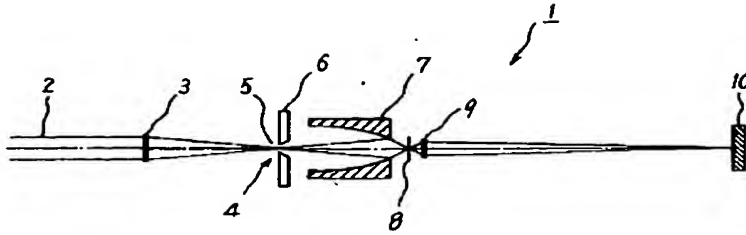
#### 【符号の説明】

- 1 軟X線顕微鏡
- 2 ビーム
- 3 ゾーンプレート
- 4 点光源（二次光源）
- 5 ピンホール
- 6 遮光板
- 7 斜入射コンデンサ
- 8 試料（観察対象物）
- 9 対物ゾーンプレート
- 10 検出器

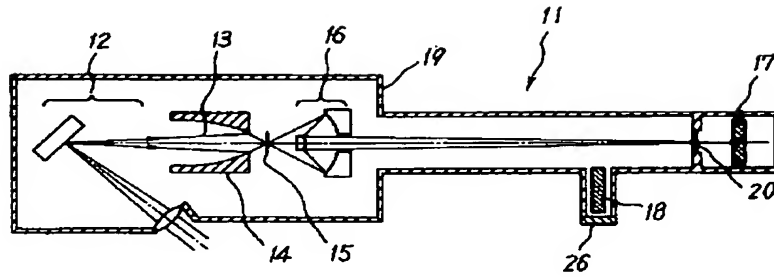
【図1】



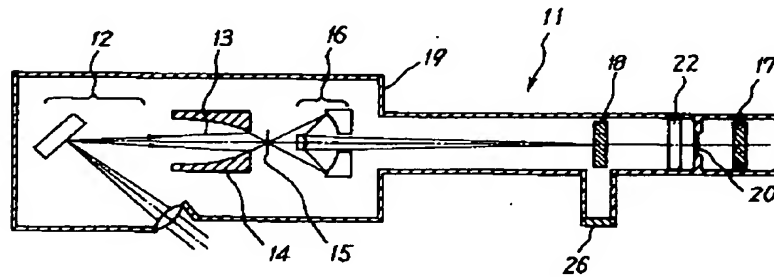
【図2】



【図3】



【図4】



【図5】

